

S/N unknown

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: KITAOKA et al. Serial No.: unknown  
Filed: concurrent herewith Docket No.: 10873.826US01  
Title: COHERENT LIGHT SOURCE AND RECORDING/REPRODUCING  
APPARATUS USING THE SAME

31000 U.S. PRO  
10/041780  
10/24/01

CERTIFICATE UNDER 37 CFR 1.10

'Express Mail' mailing label number: EL669945854US

Date of Deposit: October 24, 2001

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service 'Express Mail Post Office To Addressee' service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

By: Chris Stordahl  
Name: Chris Stordahl

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Applicants enclose herewith one certified copy of a Japanese application, Serial No. 2000-332037, filed October 31, 2000, the right of priority of which is claimed under 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

MERCHANT & GOULD P.C.  
P.O. Box 2903  
Minneapolis, Minnesota 55402-0903  
(612) 332-5300

Dated: October 24, 2001

By: Curtis B. Hamre  
Curtis B. Hamre  
Reg. No. 29,165

DPM/tvm

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

J1000 U.S. PRO  
10/041780  
10/24/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年10月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-332037

出 願 人

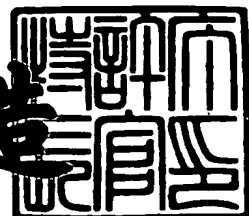
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2001年 8月10日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3070749

【書類名】 特許願

【整理番号】 R4561

【提出日】 平成12年10月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 7/00  
G02F 1/37

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式  
会社内

【氏名】 北岡 康夫

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式  
会社内

【氏名】 笠澄 研一

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式  
会社内

【氏名】 山本 和久

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095555

【弁理士】

【氏名又は名称】 池内 寛幸

【電話番号】 06-6361-9334

【選任した代理人】

【識別番号】 100076576

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 公博

【選任した代理人】

【識別番号】 100107641

【弁理士】

【氏名又は名称】 鎌田 耕一

【選任した代理人】

【識別番号】 100110397

【弁理士】

【氏名又は名称】 梶丘 圭司

【選任した代理人】

【識別番号】 100115255

【弁理士】

【氏名又は名称】 辻丸 光一郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100115152

【弁理士】

【氏名又は名称】 黒田 茂

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012162

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0004605

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 コヒーレント光源及びそれを用いた記録再生装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の波長を有する基本波光と、前記基本波光の波長を半分にするための波長変換素子とを備え、前記波長変換素子によって前記基本波光が第 2 の波長を有する高調波光に変換され、前記基本波光の波長を検出し、所望の波長に制御することにより、前記高調波光の波長制御を行うことを特徴とするコヒーレント光源。

【請求項 2】 第 1 の波長を有する基本波光と、前記基本波光の波長を半分にするための波長変換素子とを備え、前記波長変換素子によって前記基本波光が第 2 の波長を有する高調波光に変換され、前記基本波光の波長は所望の波長に固定されると共に、前記波長変換素子が位相整合波長を任意に変化させることのできる機構を有し、前記波長変換素子の位相整合波長を変化させることにより、前記高調波光の波長制御を行うことを特徴とするコヒーレント光源。

【請求項 3】 前記波長変換素子によって波長変換された後の光路に、前記基本波光と前記高調波光とを分離し、前記基本波光のみを検出する手段が設けられた請求項 1 又は 2 に記載のコヒーレント光源。

【請求項 4】 回折格子と受光素子とを備え、前記回折格子で回折された前記基本波光を前記受光素子によって検出する請求項 1 又は 2 に記載のコヒーレント光源。

【請求項 5】 前記波長変換素子が光導波路を有し、前記光導波路上に前記回折格子が形成された請求項 4 に記載のコヒーレント光源。

【請求項 6】 前記回折格子で回折された前記基本波光の位置が前記受光素子によって検出される請求項 4 に記載のコヒーレント光源。

【請求項 7】 前記回折格子が、場所によって格子間隔が変化するチャープドグレーティングからなる請求項 4 に記載のコヒーレント光源。

【請求項 8】 前記受光素子が、前記光導波路が形成された基板の側面に設けられた請求項 5 に記載のコヒーレント光源。

【請求項 9】 Cs（セシウム）ガスセルと受光素子とを備え、前記 Cs ガス

セルを透過した基本波光を前記受光素子によって検出する請求項1又は2に記載のコヒーレント光源。

【請求項10】 電気光学効果又は温度変化によって前記波長変換素子の屈折率を変化させることにより、前記波長変換素子の位相整合波長を変化させる請求項2に記載のコヒーレント光源。

【請求項11】 請求項1～10に記載の前記コヒーレント光源が搭載され、媒体に記録されたホログラム情報を再生する際に、ブラック条件を満足するように前記コヒーレント光源を最適波長に調整することを特徴する記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザと波長変換素子とを備え、光情報処理分野や光計測分野などで用いられるコヒーレント光源及びそれを用いた記録再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

光ディスクの高密度化、及び光計測の高精度化を実現するためには、小型の短波長光源が必要とされる。中でも、ホログラムを利用した記録再生方式は、 $10\text{ Gbit/inch}^2$  クラスの記録密度を期待できるため、次世代の高密度光ディスクとして注目を集めている。

【0003】

図11に、従来より提案されているホログラフィック光情報記録再生システムの概略構成を示す。これは、例えば、Psaltisらによって提案されたシフト多重記録方式の光ディスク光学系である。

【0004】

図11に示すように、レーザ光源46から出射されたレーザビームは、ビームエキスパンダ47によってビーム径が拡大された後、ハーフミラー48によって分割される。分割された一方のビームは、空間光変調器（以下、『SLM』と記す）49を通過した後、フーリエ変換レンズ50によってホログラムディスク51上に集光され、信号光となる。分割された他方のビームは、アパーチャ52に

よって適当なビーム径に変換された後、ホログラムディスク51上の信号光と同じ位置に参照光として照射される。ホログラムディスク51は、2枚のガラス基板間にフォトリソなどのホログラム媒体が封止された構造を有しており、信号光と参照光の干渉縞が記録される。

## 【0005】

SLM49は2次元的に配列された光スイッチ列からなり、記録される入力信号に対応してそれぞれの光スイッチが独立にオン・オフされる。例えば、1024セル×1024セルのSLMを用いた場合には、1Mビットの情報を同時に表示することができる。信号光がSLM49を通過する際にSLM49に表示される1Mビットの情報は、2次元の光ビーム列に変換され、ホログラムディスク51上に干渉縞として記録される。記録された信号を再生する際には、ホログラムディスク51に参照光のみを照射し、ホログラムからの回折光をCCD素子53によって受光する。

## 【0006】

ホログラムを用いた光記録システムにおいては、ホログラム媒体の厚みが約1mm程度と厚く、干渉縞が厚いグレーティング、いわゆるブラッググレーティングとして記録されるため、角度多重記録を行うことが可能となる。図11のシステムにおいては、参照光の入射角を変化させる代わりに、球面波参照光の照射位置をシフトすることにより、角度多重が実現されている。すなわち、ホログラムディスク51をわずかに回転させ、記録位置をシフトした際にホログラム媒体の各部が感じる参照光入射角がわずかに変化することにより、多重記録される。

## 【0007】

ホログラム媒体の厚みが1mmの場合、再生信号強度によって規定される角度選択性は、半値全幅が0.014度となり、参照光NA0.5のとき、約20 $\mu$ m間隔でホログラムの多重が可能となる。このとき実現される記録密度は、200Gbit/inch<sup>2</sup>、12cmディスク容量に換算して300GBである。

## 【0008】

ブラッググレーティングは角度選択性と共に波長選択性を有するため、記録・再生時の光源波長の制御が必要となる。ホログラム媒体の厚みが1mmの場合の

グレーティングにおける波長選択性は、0.24 nmである。

【0009】

上記のような高密度光情報記録再生システムを実現するためには、小型で安定なレーザ光源と多重記録を可能にする記録媒体が重要な技術となる。レーザ光源としては、発振波長の絶対値が安定していることから、通常、YAGレーザなどの固体レーザやArレーザなどのガスレーザが用いられている。

【0010】

一方、小型の短波長光源として、半導体レーザと擬似位相整合（以下、『QPM』と記す）方式の光導波路型第2次高調波発生（以下、『SHG』と記す）デバイス（光導波路型QPM-SHGデバイス）を用いたコヒーレント光源が注目されている（山本他、Optics Letters Vol.16, No.15, 1156 (1991)参照）。

【0011】

図12に、光導波路型QPM-SHGデバイスを用いたSHG青色光源の概略構成を示す。図12に示すように、半導体レーザとしては、分布ブラッグ反射器（以下、『DBR』と記す）領域を有する波長可変DBR半導体レーザ54が用いられている。波長可変DBR半導体レーザ54は、0.85  $\mu$ m帯の100 mW級AlGaAs系波長可変DBR半導体レーザであり、活性層領域56と位相調整領域57とDBR領域58とにより構成されている。そして、位相調整領域57とDBR領域58への注入電流を同時に変化させることにより、連続的に発振波長を変化させることができる。

【0012】

波長変換素子である光導波路型QPM-SHGデバイス55は、X板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板59上に形成された、光導波路60と周期的な分極反転領域61とにより構成されている。光導波路60は、ピロリン酸中でプロトン交換することによって形成される。また、周期的な分極反転領域61は、櫛形の電極をX板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板59上に形成し、電界を印加することによって作製される。

【0013】

図12に示すSHG青色光源においては、100 mWのレーザ出力に対して6



0 mWのレーザ光が光導波路60に結合する。そして、波長可変DBR半導体レーザ54の位相調整領域57及びDBR領域58への注入電流量を制御することにより、発振波長が光導波路型QPM-SHGデバイス55（波長変換素子）の位相整合波長許容幅内に固定される。このSHG青色光源を用いることにより、波長425 nmの青色光が10 mW程度得られているが、得られた青色光は、横モードがTE<sub>00</sub>モードで回折限界の集光特性を有し、ノイズ特性も相対雑音強度が-140 dB/Hz以下と小さい。

## 【0014】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記したように、ホログラムを用いた光記録システムにおいては、光の入射方向や波長によって記録される回折パターンが変化する。そのため、記録時の光の波長と再生時の光の波長とが異なると、クロストーク信号の増加や信号光強度の低下を引き起こす。

## 【0015】

図11に示すホログラムディスク51上の情報は、記録された干渉縞からのブラッグ回折光として再生される。ホログラムディスク51上の情報が十分な光量で再生されるためには、ブラッグ条件を満たす必要がある。すなわち、ホログラム媒体に対する参照光ビームの入射角度及び参照光ビームの波長がそれぞれ最適値に調整されなければならない。

## 【0016】

例えば、ホログラム媒体の厚みが1 mm、光源の波長が515 nm、干渉縞の周期が0.5 μmのシステムを仮定すると、回折効率が半減する波長の値で定義される参照光ビームの波長に対するブラッグ条件の許容幅は、515 nm ± 0.24 nmとなる。

## 【0017】

また、ホログラム媒体の熱膨張も考慮する必要がある。すなわち、ホログラム媒体の熱膨張によって記録された干渉縞の周期が変化し、ブラッグ条件を満たす最適再生波長が変化する。

## 【0018】

ホログラム媒体としてデュポン製のフォトポリマーであるオムニデクス 3 5 2 原版を用いた例について説明する。その熱線膨張率は  $7.1 \times 10^{-5}$  であり（特開平 5 - 1 6 5 3 8 号公報参照）、温度変化範囲 2 5℃ に対する最適波長の変化量は、0.18%、Ar レーザの発振波長に換算すると  $515 \pm 0.9 \text{ nm}$  となる。この値は、ブラッグ条件の許容幅  $515 \pm 0.24 \text{ nm}$  の 3 倍以上も大きい値である。ホログラム媒体の温度変化範囲に対して安定にホログラム再生を行うためには、再生中のホログラム媒体の温度変化に対応して、再生光源の波長を最適に制御する必要がある。

## 【0019】

本発明は、従来技術における前記課題を解決するためになされたものであり、半導体レーザと波長変換素子とを備え、所望の波長に制御された短波長コヒーレント光源、及びそれを用いた記録再生装置を提供することを目的とする。

## 【0020】

## 【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するため、本発明に係るコヒーレント光源の第 1 の構成は、第 1 の波長を有する基本波光と、前記基本波光の波長を半分にするための波長変換素子とを備え、前記波長変換素子によって前記基本波光が第 2 の波長を有する高調波光に変換され、前記基本波光の波長を検出し、所望の波長に制御することにより、前記高調波光の波長制御を行うことを特徴とする。

## 【0021】

また、本発明に係るコヒーレント光源の第 2 の構成は、第 1 の波長を有する基本波光と、前記基本波光の波長を半分にするための波長変換素子とを備え、前記波長変換素子によって前記基本波光が第 2 の波長を有する高調波光に変換され、前記基本波光の波長は所望の波長に固定されると共に、前記波長変換素子が位相整合波長を任意に変化させることのできる機構を有し、前記波長変換素子の位相整合波長を変化させることにより、前記高調波光の波長制御を行うことを特徴とする。

## 【0022】

また、前記本発明のコヒーレント光源の第 1 又は第 2 の構成においては、前記

波長変換素子によって波長変換された後の光路に、前記基本波光と前記高調波光とを分離し、前記基本波光のみを検出する手段が設けられているのが好ましい。

【0023】

また、前記本発明のコヒーレント光源の第1又は第2の構成においては、回折格子と受光素子とを備え、前記回折格子で回折された前記基本波光を前記受光素子によって検出するのが好ましい。また、この場合には、前記波長変換素子が光導波路を有し、前記光導波路上に前記回折格子が形成されているのが好ましい。この好ましい例によれば、反射型回折格子や波長分離機能などの部品が不要となるので、小型で安価な波長安定化機構を実現することができる。この場合にはさらに、前記受光素子が、前記光導波路が形成された基板の側面に設けられているのが好ましい。また、この場合には、前記回折格子で回折された前記基本波光の位置が前記受光素子によって検出されるのが好ましい。また、この場合には、前記回折格子が、場所によって格子間隔が変化するチャープドグレーティングからなるのが好ましい。

【0024】

また、前記本発明のコヒーレント光源の第1又は第2の構成においては、Cs（セシウム）ガスセルと受光素子とを備え、前記Csガスセルを透過した基本波光を前記受光素子によって検出するのが好ましい。

【0025】

また、前記本発明のコヒーレント光源の第2の構成においては、電気光学効果又は温度変化によって前記波長変換素子の屈折率を変化させることにより、前記波長変換素子の位相整合波長を変化させるのが好ましい。

【0026】

また、本発明に係る記録再生装置の構成は、前記本発明のコヒーレント光源が搭載され、媒体に記録されたホログラム情報を再生する際に、ブラック条件を満足するように前記コヒーレント光源を最適波長に調整することを特徴する。

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、実施の形態を用いて本発明をさらに具体的に説明する。

## 【0028】

本実施の形態のコヒーレント光源は、第1の波長を有する基本波と、前記基本波の波長を半分にするための波長変換素子、すなわち第2次高調波発生（以下、『SHG』と記す）デバイスとにより構成されている。特に、以下の各実施の形態においては、基本波として800nm帯の近赤外半導体レーザを用い、高調波として青色光～紫色光を得る構成について説明する。

## 【0029】

## 〔第1の実施の形態〕

図1は本発明の第1の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図である。

## 【0030】

図1に示すように、基本波として用いられる半導体レーザ1は、分布ブラッグ反射器（以下、『DBR』と記す）領域と位相調整領域とを有する出力100mW、波長820nmのAlGaAs系波長可変DBR半導体レーザである。そして、DBR領域と位相調整領域に一定の比率で電流を注入することにより、波長を変化させることができる。

## 【0031】

波長変換素子としては、擬似位相整合（以下、『QPM』と記す）方式の光導波路型SHGデバイス（光導波路型QPM-SHGデバイス）2が用いられている。光導波路型QPM-SHGデバイス2は、大きな非線形光学定数を利用することができ、また、光導波路であり、長い相互作用長を可能とするため、高い変換効率を実現することができる。光導波路型QPM-SHGデバイス2は、X板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板3上に形成された、光導波路4と、それに直交する周期的な分極反転領域5とにより構成されている。光導波路4は、ピロリン酸中でプロトン交換することによって形成される。また、周期的な分極反転領域5は、櫛形の電極をX板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板3上に形成し、電界を印加することによって作製される。

## 【0032】

半導体レーザ1と光導波路型QPM-SHGデバイス2は、Siサブマウント

6上で一体化され、ペルチエ素子によって温度コントロールされている。基本波光である半導体レーザ光は、レンズを用いることなく、直接結合によって光導波路型QPM-SHGデバイス2の光導波路4に結合する。100mWのレーザ出力に対して60mWのレーザ光が光導波路4に結合し、半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）1のDBR領域及び位相調整領域への注入電流量を制御することにより、発振波長が光導波路型QPM-SHGデバイス（波長変換素子）2の位相整合波長820nmに固定される。このコヒーレント光源を用いることにより、波長410nmの青色光が10mW程度得られた。また、位相整合に対する波長許容幅は、青色光出力の半値全幅で0.1nmであった。

## 【0033】

図1に示すように、光導波路4から出射した基本波光及び高調波光は、波長分離機能7によって分離される。分離された基本波光は、反射型回折格子8に導かれ、その1次回折光が集光レンズ10を通して受光素子9に集光される。反射型回折格子8としては、1000本/mm（ $=1/d$ ）のピッチdを有するものが用いられ、集光レンズ10としては、焦点距離 $f=50\text{mm}$ のものが用いられている。波長 $\lambda$ の光に対する回折角 $\theta$ は下記（数1）によって規定され、集光面上のスポット位置の変化量 $\delta x$ は下記（数2）によって表記される。

[数1]

$$\lambda = d \cdot \sin \theta$$

[数2]

$$\delta x = f \cdot \theta$$

波長変化 $820\text{nm} \pm 0.04\text{nm}$ に対するスポット位置の変化量は、 $\delta x = \pm 50 \times 0.00007 = \pm 3.5\mu\text{m}$ であった。

## 【0034】

本実施の形態においては、受光素子9としてSi-PINフォトダイオードが用いられている。また、図2に示すように、受光素子9は、その受光部分11が2分割されており、それぞれの受光部分11の大きさは $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 、受光部分11の間隔は $10\mu\text{m}$ である。受光素子9上のスポット径は $20\mu\text{m}$ であった。図2に示すように、受光素子9は、基本波光の波長が820nmのとき、

2分割された受光部分11の真ん中に集光されるように調整されている。

【0035】

2つの受光部分11からの出力の差を取ることで、基本波光の波長変動に対して、図3に示すような信号が得られた。差動で得られた信号がゼロとなるように、基本波である半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）1の発振波長を制御することにより、すなわち、DBR領域と位相調整領域に注入される電流を一定の比率で制御することにより、基本波光の波長を $820\text{ nm} \pm 0.02\text{ nm}$ に安定化することができた。このとき、発振波長を、波長変換素子（光導波路型QPM-SHGデバイス2）の位相整合波長許容幅内で、所望の波長に固定することができ、高調波光の波長も $410\text{ nm} \pm 0.01\text{ nm}$ の範囲に安定化された。

【0036】

ホログラムを用いたメモリにおいては、ブラッググレーティングが角度選択性と共に波長選択性を有するため、記録・再生時の光源波長の制御が必要となる。ホログラム媒体の厚みが1mmの場合のグレーティングにおける波長選択性は、 $0.24\text{ nm}$ である。本実施の形態で得られた高調波光の波長安定性は $410 \pm 0.01\text{ nm}$ であり、その波長選択性を十分満足するものであった。そのため、良好な再生特性が得られた。

【0037】

本実施の形態においては、モジュール温度、すなわち、半導体レーザ1と光導波路型QPM-SHGデバイス2の温度がペルチェ素子によって安定化されているため、位相整合波長の変化もほとんどなく、青色光出力も安定に得られた。

【0038】

本実施の形態においては、波長変換素子によって波長変換された高調波光（第2次高調波光）がホログラム媒体への記録再生光として利用されている。第2次高調波発生（SHG）を利用した波長変換では、変換効率が20%程度であるため、基本波光のほとんどが波長変換されずに光導波路4から出射する。本実施の形態のように基本波光を利用して波長検出を行うことにより、高調波光の利用効率を向上させることができるため、すなわち、波長変換された高調波光のほとん

どをホログラム媒体への記録再生に利用することができるため、その実用的効果は大きい。

#### 【0039】

本実施の形態においては、2分割の受光素子9が用いられているが、これは回折光（基本波光）の位置を検出するための手段であり、受光素子がアレー型の位置検出手段となっても、同様の効果が得られる。

#### 【0040】

##### 〔第2の実施の形態〕

上記第1の実施の形態においては、光導波路4から出射された基本波光及び高調波光が波長分離機能7によって分離され、基本波光のみが反射型回折格子8に導かれ、その1次回折光が受光素子9に集光されることにより、高調波光の波長制御が行われている。本実施の形態においては、波長変換素子中の光導波路上に回折格子を形成し、その回折光を用いて高調波光の波長制御を行う構成について説明する。

#### 【0041】

図4は本発明の第2の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図である。

#### 【0042】

上記第1の実施の形態と同様に、基本波である半導体レーザ12としては、DBR領域と位相調整領域とを有する出力100mW、波長820nmのAlGaAs系波長可変DBR半導体レーザが用いられている。そして、DBR領域と位相調整領域に一定の比率で電流を注入することにより、基本波光の波長を変化させることができる。本実施の形態の構成においては、基本波光のみが回折光として取り出され、高調波光の回折効率ができるだけ小さくなるように設計することが望まれる。

#### 【0043】

波長変換素子としては、光導波路型QPM-SHGデバイス13が用いられている。光導波路型QPM-SHGデバイス13は、X板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板14上に形成された、光導波路15と、それに直交する周期的な分極反転

領域16とにより構成されている。尚、図4中、18は半導体レーザ12からの出射された基本波光を光導波路15に結合させるための結合レンズである。

#### 【0044】

基本波光の波長は820nm、波長変換された高調波光の波長は410nmである。X板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板14上に形成された光導波路15の実効屈折率nは2.2程度である。

#### 【0045】

光導波路型QPM-SHGデバイス13の光導波路15上には回折格子17が形成されている。波長λの光に対する回折角θは、空気側と基板側でそれぞれ下記(数3)、(数4)によって規定される。

#### [数3]

$$\text{空気側} : d \cdot (n - \sin \theta) = \lambda$$

#### [数4]

$$\text{基板側} : n d \cdot (1 - \sin \theta) = \lambda$$

従って、空気側の45度の方向に回折されるように設計すると、回折格子17のピッチ(周期)dは549nmとなる。このとき、基板側の19度の方向に基本波光(1次)が回折され、基板側の41度の方向に高調波光(1次)が回折される。

#### 【0046】

図4に示すように、回折格子17によって空気側の45度の方向に回折された基本波光は、円弧状の出射ビームとなって、受光素子19に集光される。回折格子17と受光素子19との距離は20mmに設定されており、受光素子19上での波長変化820nm±0.04nmに対するスポット位置の変化量は、 $\delta x = \pm 20 \times 0.0001 = \pm 2 \mu\text{m}$ であった。

#### 【0047】

本実施の形態においても、受光素子19としてSi-PINフォトダイオードが用いられている。また、受光素子19は、その受光部分19aが2分割されており、基本波光の波長が820nmのとき、2分割された受光部分19aの真ん中に集光されるように調整されている。



## 【0048】

2つの受光部分19aからの出力の差を取ることで、基本波光の波長変動に対して、S字信号が得られた。差動で得られた信号がゼロとなるように、基本波である半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）12の発振波長を制御することにより、すなわち、DBR領域と位相調整領域に注入される電流を一定の比率で制御することにより、基本波光の波長を $820\text{ nm} \pm 0.02\text{ nm}$ に安定化することができた。このとき、発振波長を、波長変換素子（光導波路型QPM-SHGデバイス13）の位相整合波長許容幅内で、所望の波長に固定することができ、高調波光の波長も $410\text{ nm} \pm 0.01\text{ nm}$ の範囲に安定化された。

## 【0049】

以下に、本実施の形態における波長変換素子としての光導波路型QPM-SHGデバイス13の作製方法について説明する。まず、光導波路15と周期的な分極反転領域16が形成されたX板 $\text{MgO}$ ドープ $\text{LiNbO}_3$ 基板14の上に、レジストを塗布する。チャープ状となるように回折格子（グレーティング）17を形成することにより、回折光を集光することができる。グレーティングを形成する際のマスクは、光導波路15の入射端側の周期が $549\text{ nm}$ よりも大きく、出射端側の周期が $549\text{ nm}$ よりも小さくなるように設計した。これにより、 $20\text{ mm}$ 離れた位置の受光素子19上に円弧状の出射ビームを集光することが可能となった。次いで、形成されたレジストグレーティングの上に $\text{SiO}_2$ からなるスパッタ膜を形成し、ウェットエッチングによってレジストを除去し、リフトオフによって $\text{SiO}_2$ からなる回折格子を光導波路15上に作製した。

## 【0050】

グレーティング長は $2\text{ mm}$ とした。受光素子19上の円弧状の出射ビームの幅は、 $10\text{ }\mu\text{ m}$ 程度であった。グレーティングの深さは浅く設計されており、基本波光の回折効率 $5\%$ であった。このとき、高調波光の回折効率も $5\%$ 以下であった。

## 【0051】

本実施の形態においては、モジュール温度、すなわち、半導体レーザ12と光導波路型QPM-SHGデバイス13の温度がペルチエ素子によって安定化され

ている。このため、位相整合波長の変化もほとんどなく、青色光出力も安定に得られた。

## 【0052】

また、図5に示す構成においては、方向性結合器20によって基本波光のみが隣の光導波路21に結合する。また、隣の光導波路21には回折格子22が形成されている。図4に示す構成においては、光導波路15上に形成された回折格子17による高調波光の回折効率は5%以下であった。しかし、このような構成では、波長変換によって得られた高調波光の利用効率が低下してしまう。本構成においては、方向性結合器20によって高調波光の損失を低減し、波長変換されずに伝搬してきた基本波光は方向性結合器20によって取り出されて波長安定化に利用されているため、高調波光の利用効率を大幅に向上させることができる。

## 【0053】

図5に示すように、光導波路型QPM-SHGデバイス23の出射部には方向性結合器20が形成され、その光導波路21上には図4と同様の回折格子22が形成されている。方向性結合器20は、導波路の間隔が $3\mu\text{m}$ 、結合長が $0.5\text{mm}$ に設計されている。プロトン交換によって作製された光導波路を有する波長変換素子においては、高調波光のモードよりも基本波光のモードの方が大きく、そのためにモードのしみ出しも大きい。導波路間隔が $3\mu\text{m}$ の場合、高調波光の結合係数はほとんどなく、基本波光のみが隣の光導波路21に結合する。このとき、基本波光の結合係数は10%程度、高調波光の損失は0.5%であった。

## 【0054】

隣の光導波路21に結合した基本波光は、回折格子22によって受光素子の方向に回折し、図4の場合と同様にして、基本波光の波長が検出された。よって、基本波である半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）24の発振波長を制御することにより、発振波長を、波長変換素子（光導波路型QPM-SHGデバイス23）の位相整合波長許容幅内で、所望の波長に固定することができ、波長が安定化された青色光が得られた。

## 【0055】

ホログラムを用いたメモリにおいては、ブラッググレーティングが角度選択性

共に波長選択性を有するため、記録・再生時の光源波長の制御が必要になる。ホログラム媒体の厚みが1mmの場合のグレーティングにおける波長選択性は、0.24nmである。本実施の形態で得られた高調波光の波長安定性は $410 \pm 0.01$ nmであり、その波長選択性を十分満足するものであった。そのため、良好な再生特性が得られた。

## 【0056】

また、図6に示す構成においては、回折格子72によって回折された基本波光を、波長変換素子としての光導波路型QPM-SHGデバイス74の側面に設けられた受光素子75によって検出することにより、高調波光の波長制御が行われる。尚、図6中、73は周期的な分極反転領域を示している。

## 【0057】

基本波光の波長は820nm、波長変換された高調波光の波長は410nmである。X板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板上に形成された光導波路71の実効屈折率 $n$ は2.2程度である。上記(数4)によれば、回折格子72のピッチ(周期) $d$ が373nmのとき、回折角 $\theta$ は0度、すなわち、基本波光の回折角が進行方向に対して90度となり、回折格子72の真横に設けられた受光素子75に集光される。回折格子72は、光導波路型QPM-SHGデバイス13上に形成されたものと同様に、チャープ状の回折格子である。回折格子72は、光導波路型QPM-SHGデバイス13上に形成されたものと同様の方法によって形成される。

## 【0058】

グレーティング長は2mmとした。受光素子75上のスリット状の出射ビームの幅は、10 $\mu$ m程度であった。グレーティングの深さは浅く設計されており、基本波光の回折効率も5%であった。このとき、高調波光の回折効率も5%以下であった。尚、回折格子72と受光素子75との距離は、10mmに設定されている。

## 【0059】

本構成においても、受光素子75として2分割のSi-PINフォトダイオードが用いられており、基本波光の波長が820nmのとき、2分割された受光部

分の真ん中に集光されるように調整されている。

【0060】

2つの受光部分からの出力の差を取ることで、基本波光の波長変動に対して、S字信号が得られた。差動で得られた信号がゼロとなるように、基本波である半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）70の発振波長を制御することにより、基本波の発振波長を安定化することができた。そのため、発振波長を、波長変換素子（光導波路型QPM-SHGデバイス74）の位相整合波長許容幅内で、所望の波長に固定することができ、高調波光の波長も安定化された。

【0061】

本実施の形態によれば、波長変換素子の光導波路上に回折格子を形成することにより、反射型回折格子や波長分離機能などの部品が不要となるので、小型で安価な波長安定化機構を実現することができる。

【0062】

本実施の形態においても、波長変換されずに光導波路から出射される基本波光を利用して波長検出を行うようにしているので、高調波光の利用効率を大幅に向上させることができ、その実用的効果は大きい。

【0063】

〔第3の実施の形態〕

上記第1の実施の形態においては、光導波路4から出射された基本波光及び高調波光が波長分離機能7によって分離され、基本波光のみが反射型回折格子8に導かれ、その1次回折光が受光素子9に集光されることにより、高調波光の波長制御が行われている。本実施の形態においては、Csの吸収線を利用して基本波光の波長を852nmに制御し、高調波光の波長制御を行う構成について説明する。

【0064】

図7は本発明の第3の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図である。

【0065】

上記第1の実施の形態と同様に、基本波である半導体レーザ25としては、D

B R 領域と位相調整領域とを有する出力 1 0 0 mW、波長 8 5 0 n m 帯の A l G a A s 系波長可変 D B R 半導体レーザが用いられている。そして、D B R 領域と位相調整領域に一定の比率で電流を注入することにより、基本波光の波長を変化させることができる。

## 【 0 0 6 6 】

本実施の形態においては、位相整合波長が 8 5 2 n m となるように、光導波路型 Q P M - S H G デバイス 2 6 の周期的な分極反転領域 2 7 の周期が設計されている。光導波路型 Q P M - S H G デバイス 2 6 の光導波路 2 8 から出射した基本波光及び高調波光は、波長分離機能 2 9 によって分離される。分離された基本波光は、C s ガスがパッケージされた C s ガスセル 3 0 に導かれ、その透過光が受光素子 3 1 によって検出される。C s の吸収線の中心波長は 8 5 2 n m である。受光素子 3 1 で検出される C s ガスセル 3 0 の透過光強度が最も小さくなるように基本波光の波長を制御することにより、基本波光の波長を位相整合波長 8 5 2 n m に制御することができ、同時に高調波光の波長を 4 2 6 n m に安定に制御することができた。

## 【 0 0 6 7 】

本実施の形態においては、モジュール温度、すなわち、半導体レーザ 2 5 と光導波路型 Q P M - S H G デバイス 2 6 の温度がペルチエ素子によって安定化されている。このため、位相整合波長の変化もほとんどなく、青色光出力も安定に得られた。

## 【 0 0 6 8 】

グレーティングや光導波路上の回折格子では、温度変化や経時変化などによって絶対波長が微妙に変化するが、本実施の形態のように C s ガスセル 3 0 などの物質の吸収線を用いることにより、波長の絶対化が可能となり、より高精度に波長制御を行うことが可能となる。

## 【 0 0 6 9 】

本実施の形態においても、波長変換されずに光導波路から出射される基本波光を利用して波長検出を行うようにしているため、高調波光の利用効率を大幅に向上させることができ、その実用的効果は大きい。

## 【0070】

## [第4の実施の形態]

上記第1～第3の実施の形態においては、基本波光の波長を、波長変換素子の位相整合波長許容幅内（約0.1nm）で制御することにより、高調波光の波長を安定化させている。しかし、ホログラム媒体の温度変化範囲25℃に対して、最適波長の変化量は、線膨張係数から計算すると、0.18%（デュポン製のフォトポリマーであるオムニデクス352原版）であり、Arレーザの発振波長に換算すると、515nm+0.9nmとなる。

## 【0071】

本実施の形態においては、温度変化範囲に対して安定にホログラム再生を行うための、再生中のホログラム媒体の温度変化に対応して波長が最適に制御されたコヒーレント光源について説明する。

## 【0072】

図8は本発明の第4の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図である。

## 【0073】

上記第1の実施の形態と同様に、基本波である半導体レーザ32としては、DBR領域と位相調整領域とを有する出力100mW、波長820nmのAlGaAs系波長可変DBR半導体レーザが用いられている。そして、DBR領域と位相調整領域に一定の比率で電流を注入することにより、基本波光の波長を変化させることができる。

## 【0074】

上記第1の実施の形態と同様に、波長変換素子としては、光導波路型QPM-SHGデバイス33が用いられている。本実施の形態においては、上記第1の実施の形態と異なり、光導波路34上にヒータ35が形成されている。基板であるX板MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板の屈折率は、温度依存性を有している。そのため、波長変換素子の温度を変化させると、分極反転領域36の実効的な周期が変化する。また、光導波路34の実効屈折率も変化する。これにより、位相整合波長が温度依存性を有することとなる。

## 【0075】

本実施の形態の光導波路型QPM-SHGデバイス33は、 $0.06\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ の温度依存性を有しており、ヒータ35への注入電流を大きくすることにより、光導波路34部分の温度が上昇し、位相整合波長が長波長側にシフトした。具体的には、ヒータ35への電流注入により、光導波路34部分の温度が $30^{\circ}\text{C}$ 上昇し、位相整合波長が約 $1.8\text{ nm}$ シフトした。

## 【0076】

$100\text{ mW}$ のレーザ出力に対して $60\text{ mW}$ のレーザ光が光導波路34に結合し、半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）32のDBR領域及び位相調整領域への注入電流量を制御することにより、発振波長が光導波路型QPM-SHGデバイス（波長変換素子）33の位相整合波長 $820\text{ nm}$ に固定される。このコヒーレント光源を用いることにより、波長 $410\text{ nm}$ の青色光が $10\text{ mW}$ 程度得られた。また、位相整合に対する波長許容幅は、青色出力の半値全幅で $0.1\text{ nm}$ であった。

## 【0077】

DBR領域及び位相調整領域を有する半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）32においては、約 $2\text{ nm}$ の範囲で連続的に波長を変化させることができる。そのため、光導波路型QPM-SHGデバイス（波長変換素子）33上のヒータ35への注入電流と、半導体レーザ（波長可変DBR半導体レーザ）32のDBR領域及び位相調整領域への注入電流量とを制御することにより、基本波光の波長を $820\text{ nm}$ から $821.8\text{ nm}$ まで変化させることが可能となり、 $410\text{ nm}$ から $410.9\text{ nm}$ まで高調波光の出力を一定に保持しながら、波長を変化させることができた。

## 【0078】

Arレーザ（ $515\text{ nm}$ ）を光源として用いた場合、本実施の形態のコヒーレント光源は、ホログラム媒体の温度変化範囲 $25^{\circ}\text{C}$ に対して必要とされる光源の波長可変範囲 $0.9\text{ nm}$ を波長可変することができるので、ホログラム媒体の温度変化に対しても常に安定な再生特性を得ることができる。

## 【0079】

図 9 は本発明の第 4 の実施の形態におけるコヒーレント光源の他の構成を示す模式図である。

## 【 0 0 8 0 】

基本波である半導体レーザ 3 7 としては、図 8 の構成と同様に、DBR 領域と位相調整領域とを有する出力 1 0 0 mW、波長 8 2 0 n m の A l G a A s 系波長可変 DBR 半導体レーザが用いられている。そして、DBR 領域と位相調整領域に一定の比率で電流を注入することにより、基本波光の波長を変化させることができる。

## 【 0 0 8 1 】

波長変換素子としては、図 8 の構成と同様に、光導波路型 Q P M - S H G デバイス 3 8 が用いられている。本構成においては、図 8 の構成と異なり、光導波路 3 9 の両側に平行電極 4 0 が形成されている。基板である X 板 M g O ドープ L i N b O <sub>3</sub> 基板は、電気光学効果を有しており、電界を印加すると、屈折率変化が生じる。そのため、光導波路 3 9 の両側に形成された平行電極 4 0 に電圧を印加すると、光導波路 3 9 の屈折率が変化する。これにより、位相整合波長を変化させることができる。本構成の光導波路型 Q P M - S H G デバイス 3 8 は、印加電圧 5 V に対して、2 n m の波長可変を実現することができた。

## 【 0 0 8 2 】

1 0 0 mW のレーザ出力に対して 6 0 mW のレーザ光が光導波路 3 9 に結合し、半導体レーザ（波長可変 DBR 半導体レーザ）3 7 の DBR 領域及び位相調整領域への注入電流量を制御することにより、発振波長が光導波路型 Q P M - S H G デバイス（波長変換素子）3 8 の位相整合波長 8 2 0 n m に固定される。このコヒーレント光源を用いることにより、波長 4 1 0 n m の青色光が 1 0 mW 程度得られた。

## 【 0 0 8 3 】

DBR 領域及び位相調整領域を有する半導体レーザ（波長可変 DBR 半導体レーザ）3 7 においては、約 2 n m の範囲で連続的に波長を変化させることができる。そのため、光導波路型 Q P M - S H G デバイス（波長変換素子）3 8 上の平行電極 4 0 への注入電流と、半導体レーザ（波長可変 DBR 半導体レーザ）3 7



のDBR領域及び位相調整領域への注入電流量とを制御することにより、基本波光の波長を820nmから822nmまで変化させることが可能となり、410nmから411nmまで高調波光の出力を一定に保持しながら、波長を変化させることができた。

## 【0084】

Arレーザ(515nm)を光源として用いた場合、本実施の形態のコヒーレント光源は、ホログラム媒体の温度変化範囲25℃に対して必要とされる光源の波長可変範囲0.9nmを波長可変することができるので、ホログラム媒体の温度変化に対しても常に安定な再生特性を得ることができる。

## 【0085】

図8及び図9の構成においても、ホログラム媒体のブラッグ条件を満たすように、ホログラム媒体に対する参照光ビームの波長が最適値に調整されなければならない。そのため、上記第1～第3の実施の形態に示すような、基本波光を用いた波長検出手段が有効である。また、図8及び図9に示すコヒーレント光源を用いれば、ホログラム媒体の温度変化に対して、光源の波長を追従させることにより、安定な再生特性が得られる。上記第1及び第2の実施の形態においては、2分割の受光素子が用いられているが、本実施の形態においては、波長の絶対値を検出するためにアレー型の受光素子が用いられる。

## 【0086】

図10に、アレー型の受光素子と反射型回折格子を用いた波長検出系の構成を示す。図10に示すように、光導波路から出射した基本波光及び高調波光は、波長分離機能41によって分離される。分離された基本波光は、反射型回折格子42に導かれ、その1次回折光が集光レンズ43を通して受光素子44に集光される。反射型回折格子42としては、1000本/mm( $=1/d$ )のピッチdを有するものが用いられ、集光レンズ43としては、焦点距離 $f=20\text{mm}$ のものが用いられている。波長変化 $820\text{nm}+0.4\text{nm}$ に対するスポット位置の変化量は、 $\delta x=20\times 0.0007=14\mu\text{m}$ であった。

## 【0087】

受光素子44としては、Si-PINフォトダイオードが用いられている。ま

た、受光素子 4 4 は、その受光部分 4 5 がアレー状に 5 分割されており、それぞれの受光部分 4 5 の大きさは  $9\ \mu\text{m} \times 9\ \mu\text{m}$ 、受光部分 4 5 の隙間は  $5\ \mu\text{m}$  である。基本波光の波長が  $820\ \text{nm}$ （高調波  $410\ \text{nm}$ ）のとき、受光部分 4 5 の 1 ～ 5 において、受光部分 4 5 での光検出強度が最大となるように調整されている。これにより、受光部分 4 5 の 2 での光検出強度が最大になるとき、基本波光の波長を  $820.4\ \text{nm}$ （高調波  $410.2\ \text{nm}$ ）に制御することができた。また、受光部分 4 5 の 5 での光検出強度が最大になるとき、基本波光の波長を  $822\ \text{nm}$ （高調波  $411\ \text{nm}$ ）に制御することができた。すなわち、高調波光の波長を、 $410\ \text{nm}$  から  $411\ \text{nm}$  まで、 $0.2\ \text{nm}$  ずつ不連続的に変化させることができた。

## 【0088】

Ar レーザ（ $515\ \text{nm}$ ）を光源として用いた場合、ホログラム媒体の温度変化範囲  $25^\circ\text{C}$  に対して必要とされる光源の波長可変範囲は  $0.9\ \text{nm}$  であった。本実施の形態のコヒーレント光源は、不連続ではあるが、 $1\ \text{nm}$  の波長範囲を波長検出しながら変化させることができるので、ホログラム媒体の温度変化に対しても、再生に最適な波長を選択することができ、安定な再生特性を得ることができた。

## 【0089】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、高調波光の波長を任意に変化させることができる。その結果、ホログラムメモリなどの絶対波長を必要とするものの光源として用いた場合、波長が安定しているだけでなく、変化させることもできるので、その実用的効果は大きい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図

## 【図 2】

本発明の第 1 の実施の形態におけるコヒーレント光源の受光部の構成を示す模式図

【図 3】

本発明の第 1 の実施の形態におけるコヒーレント光源の受光部で検出される信号波形図

【図 4】

本発明の第 2 の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図

【図 5】

本発明の第 2 の実施の形態におけるコヒーレント光源の他の構成を示す模式図

【図 6】

本発明の第 2 の実施の形態におけるコヒーレント光源のさらに他の構成を示す模式図

【図 7】

本発明の第 3 の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図

【図 8】

本発明の第 4 の実施の形態におけるコヒーレント光源の構成を示す模式図

【図 9】

本発明の第 4 の実施の形態におけるコヒーレント光源の他の構成を示す模式図

【図 1 0】

本発明の第 4 の実施の形態における波長検出系の構成を示す模式図

【図 1 1】

従来技術におけるホログラフィック光情報記録再生システムの概略構成図

【図 1 2】

従来技術における光導波路型 QPM-SHG デバイスを用いた SHG 青色光源の概略構成図

【符号の説明】

- 1 半導体レーザ
- 2 光導波路型 QPM-SHG デバイス
- 3 X 板 MgO ドープ LiNbO<sub>3</sub> 基板
- 4 光導波路
- 5 分極反転領域

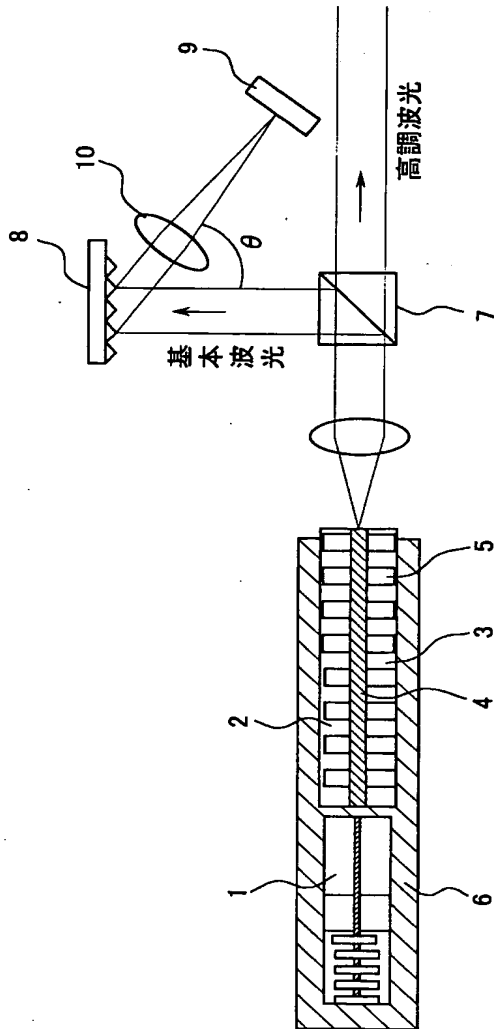
- 6 Si サブマウント
- 7 波長分離機能
- 8 反射型回折格子
- 9 受光素子
- 10 集光レンズ
- 11 受光部分
- 12 半導体レーザ
- 13 光導波路型 QPM-SHG デバイス
- 14 X 板 MgO ドープ LiNbO<sub>3</sub> 基板
- 15 光導波路
- 16 分極反転領域
- 17 回折格子
- 18 結合レンズ
- 19 受光素子
- 20 方向性結合器
- 21 光導波路
- 22 回折格子
- 23 光導波路型 QPM-SHG デバイス
- 24 半導体レーザ
- 25 半導体レーザ
- 26 光導波路型 QPM-SHG デバイス
- 27 分極反転領域
- 28 光導波路
- 29 波長分離機能
- 30 Cs ガスセル
- 31 受光素子
- 32 半導体レーザ
- 33 光導波路型 QPM-SHG デバイス
- 34 光導波路

- 3 5 ヒータ
- 3 6 分極反転領域
- 3 7 半導体レーザー
- 3 8 光導波路型 QPM-SHG デバイス
- 3 9 光導波路
- 4 0 平行電極
- 4 1 波長可変機能
- 4 2 反射型回折格子
- 4 3 集光レンズ
- 4 4 受光素子
- 4 5 受光部分

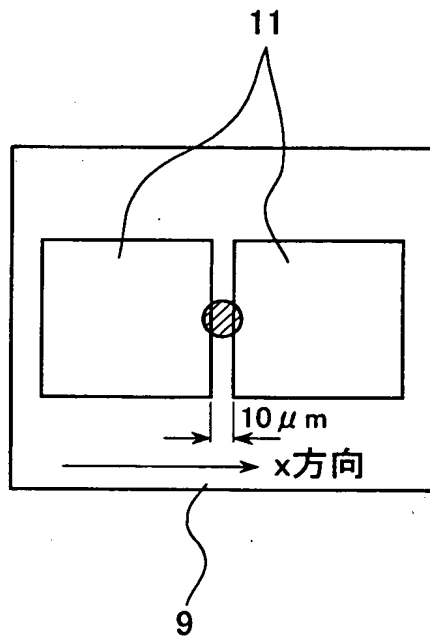
【書類名】

図面

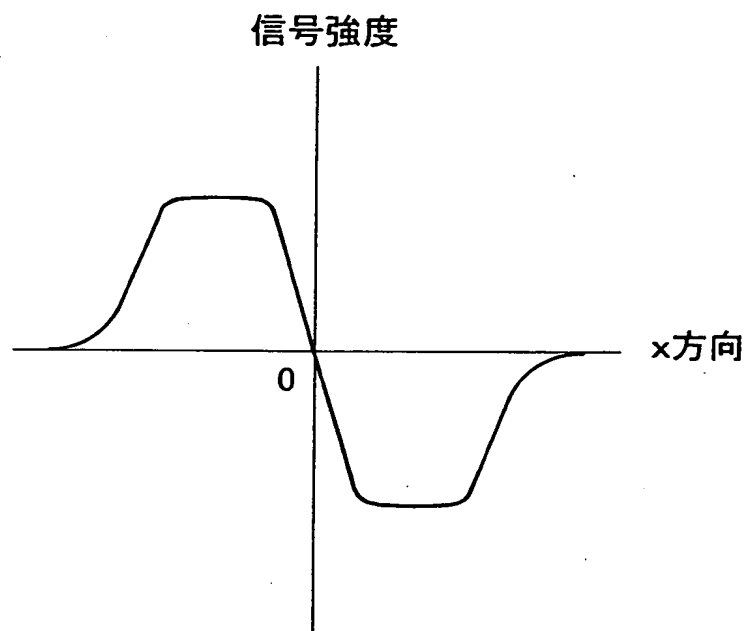
【図 1】



【図 2】

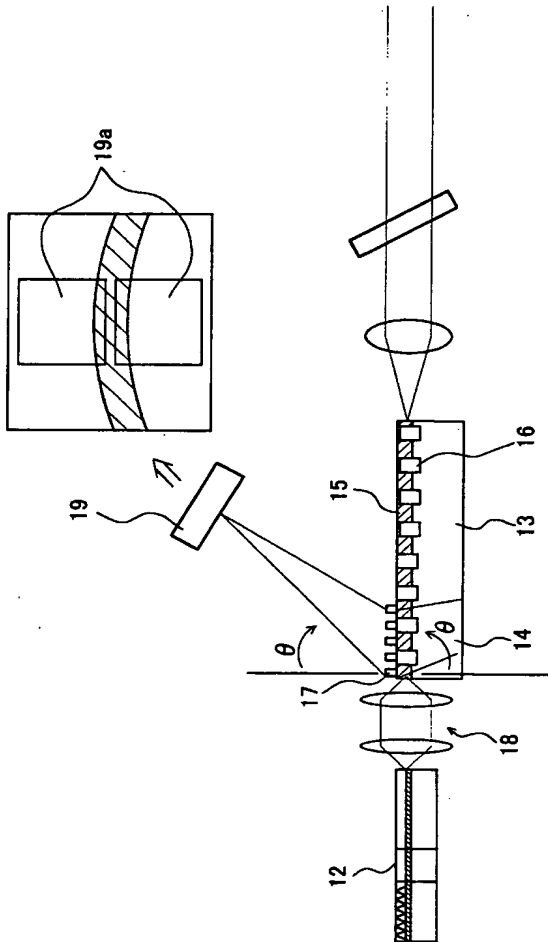


【図 3】

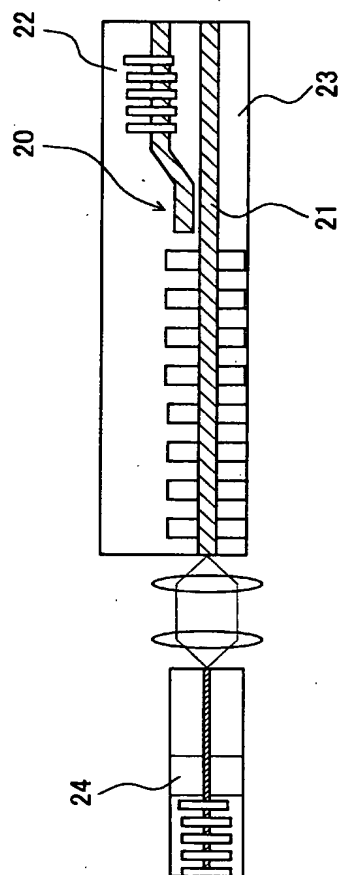




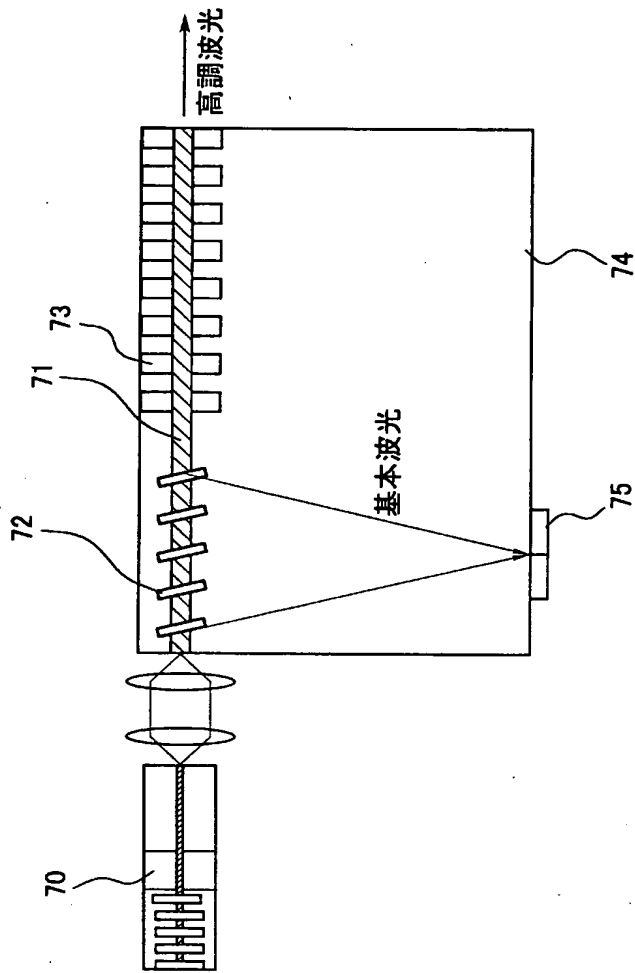
【図 4】



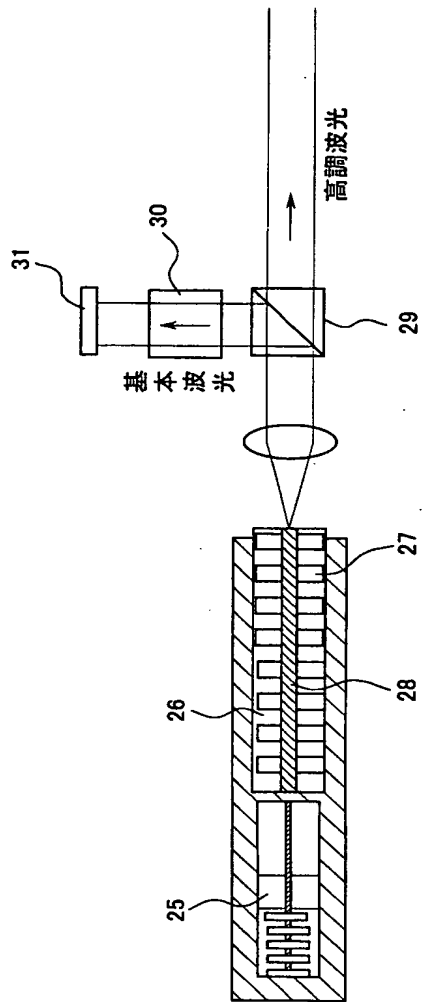
【図 5】



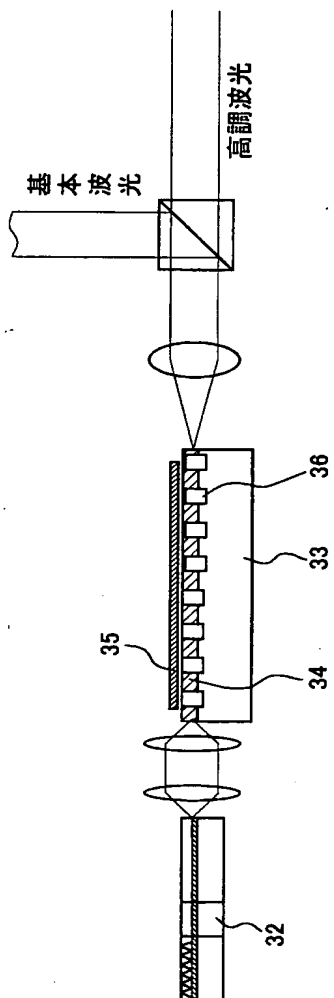
【図 6】



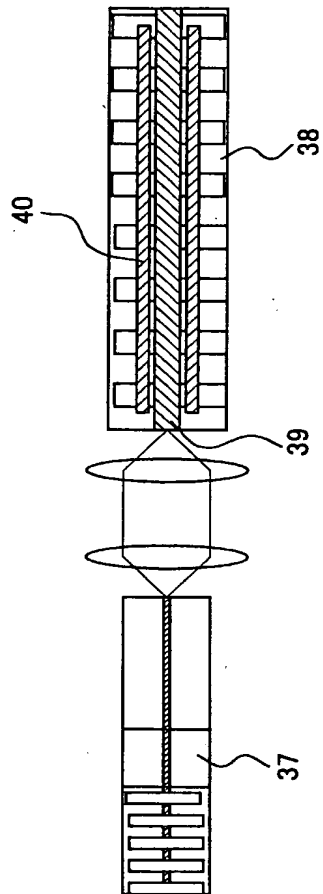
【図 7】



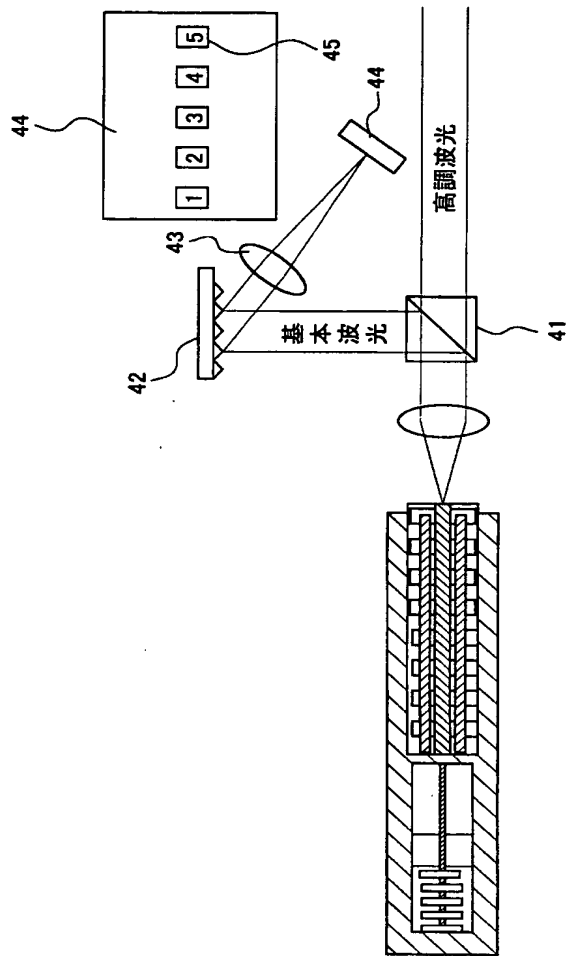
【図 8】



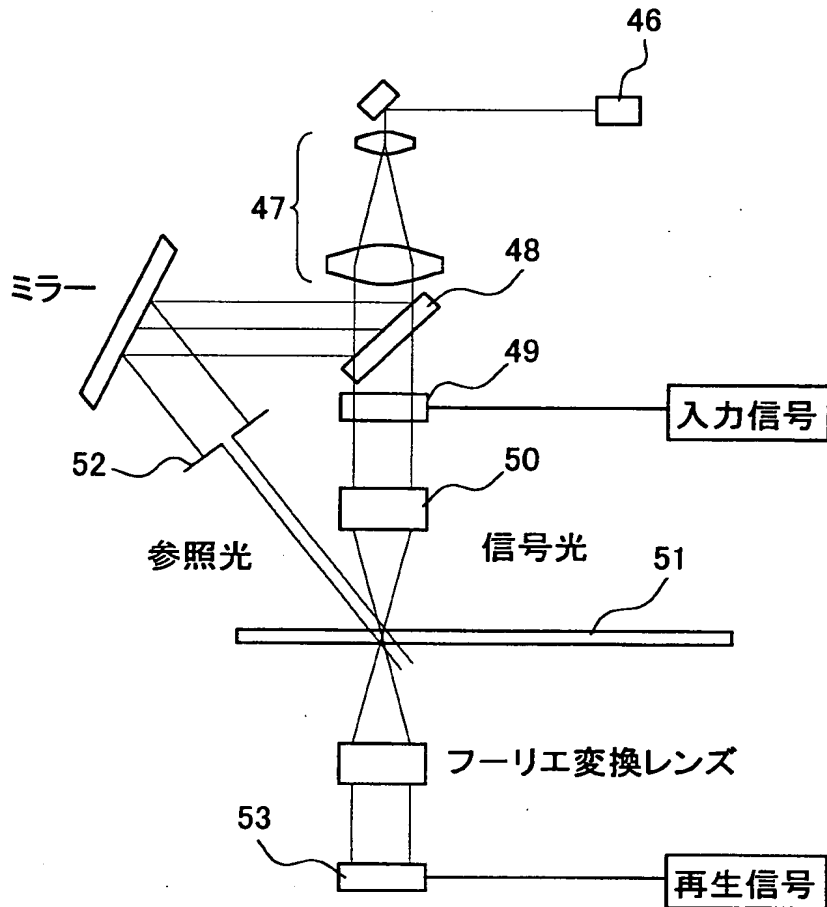
【図 9】



【図10】

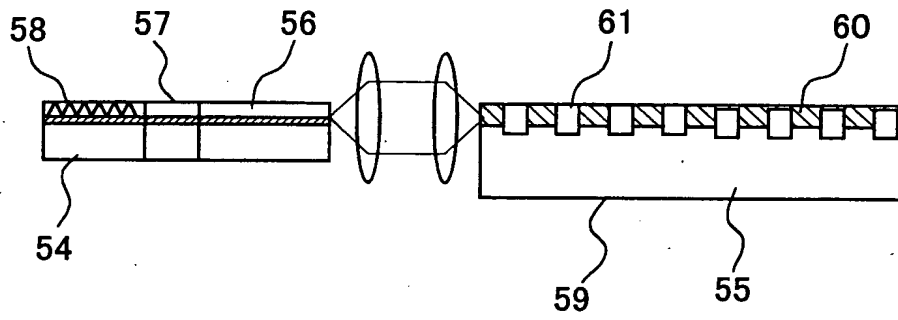


【図 11】





【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体レーザと波長変換素子とを備え、所望の波長に制御された短波長コヒーレント光源を提供する。

【解決手段】 コヒーレント光源を、第1の波長を有する半導体レーザ1と、半導体レーザ1の波長を半分にするための波長変換素子としての光導波路型QPM-SHGデバイス2と、波長選択機能7と、回折格子8と、受光素子9とにより構成する。基本波光である半導体レーザ光を波長選択機能7により分離し、回折格子8を用いて波長制御することにより、波長変換によって得られる高調波光の波長を所望の波長に制御する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府門真市大字門真1006番地

氏 名 松下電器産業株式会社